

Toni Junnonaho

KONEISTAMON JÄÄHDYTYS JA LÄMMITYS

KONEISTAMON JÄÄHDYTYS JA LÄMMITYS

Toni Junnonaho
Opinnäytetyö
Kevät 2015
Talotekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Talotekniikka, LVI

Tekijä: Toni Junnonaho

Opinnäytetyön nimi: Koneistamon jäähdytys ja lämmitys

Työn ohjaaja: Mikko Niskala

Työn valmistumislukukausi- ja vuosi: Kevät 2015 Sivumäärä: 34 + 3 liitettä

Tämä opinnäytetyö lähti liikkeelle Makotec Oy:n koneistamon jäähdytystarpeesta ja ajatuksesta hyödyntää tuotannossa tulevaa hukkalämpöä koneistamon tuotantotilojen ja viereisen omakotitalon lämmityksessä.

Tarkoituksena on hyödyntää olemassa olevaa maalämmön keruupiiriä, jonka rinnalle jäähdytysjärjestelmä rakennetaan. Lähtökohtana oletetaan, ettei nykyinen maalämmön vaakakentän keruupiiri riitä jäähdytystehon tarpeeseen ja että kenttä lämpenee liikaa kesällä, jolloin jäähdytyksen tarve on suurinta. Tämän vuoksi suunnitellaan vaihtoehtoinen järjestelmä jäähdytykseen ja lämmöntalteenottoon. Vaihtoehtona on porakaivon tekeminen eli passiivijäähdytys tai koneellinen- eli aktiivijäähdytys.

Toimivan maalämpöjärjestelmän rinnalle rakennettiin maaliuoksen kiertopiiri, joka kulkee hallissa olevan jäähdytinpuhaltimen kautta. Jäähdytyspuhallin kierättää sisäilmaa jäähdyttäen sitä. Tilat mallinnettiin AutoCad-ohjelmistolla, kiinteistön lämmityksen ja jäähdytyksen tarve laskettiin Cads Planner -ohjelmistolla ja lämpökaivot mallinnettiin EED-ohjelmalla. Työssä esitetään vaakakentästä saatu tehon ja jäähdytysenergian määrä kesällä sekä suunnitelmat porakaivosta ja IV-koneeseen kytketystä jäähdytysjärjestelmästä.

Kesällä tehdyt mittaukset osoittivat, ettei vaakakentästä saada mitenkään tarvittavaa jäähdytystehoa koneistamon tarpeisiin, sillä maaperä lämpenee liian paljon sinne johdetusta kiinteistön jäähdytyksestä ja auringosta tulevasta energias-
ta. Hallissa on tuotantolaitteiden vuoksi niin paljon lämpökuormaa, että sen jäähdyttämiseksi oli kehitettävä korvaava ratkaisu, jolla jäähdytystarve tulisi ka-
tettua ja on kustannuksiltaan järkevä.

Asiasanat: jäähdytys, maakyilmä, lämmöntalteenotto, ilmanvaihto

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
SISÄLLYS	4
1 JOHDANTO	6
2 JÄÄHDYTYS	7
2.1 Aktiivijäähdytys	7
2.2 Passiivijäähdytys	7
2.3 Kylmän jako tiloihin	8
2.4 Lämpökaivo	8
2.5 Vaakakenttä	9
3 LÄMMITYS	11
3.1 Maalämpö	11
3.2 Lämmöntalteenotto	11
3.2.1 Nestekiertoinen järjestelmä	11
3.2.2 Energiavaraaja	12
4 ILMANVAIHTO	14
4.1 Tuotantotilat	14
4.2 Toimistotilat	14
5 ESIMERKKIKOHDE	15
5.1 Jäähdytys	16
5.2 Lämmitys	21
5.3 Ilmanvaihto	22
5.4 Vaakakentän mitoitus	23
5.5 Porakaivon mitoitus	24
6 INVESTOINNIT	27
6.1 Maalämpökaivo	27
6.2 Lämmöntalteenotto ja jäähdytys	27
6.3 Ilmanvaihto	28
7 YHTEENVETO	31
LÄHTEET	33
Liite 1 Pohjakuva ja ilmanvaihto	
Liite 2 Lämpöhäviöt	

Liite 3 EED simuloinnin tulokset

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö tehdään Makotec Oy:lle, joka on Siikalatvalla sijaitseva CNC-konepajayritys. Yritys on perustettu vuonna 2000. Yrityksen erikoisalana on haastavien jysittävien ja sorvattavien tuotteiden suunnittelu ja valmistus. Työntekijöitä yrityksen tuotannossa on 8, ja tuotantotilojen pinta-ala on noin 400 m².

Ongelmana on tuotannossa syntyvä lämpö. Konepajan kalustoon kuuluu isoina ja paljon lämpöä tuotavina laitteina neljä CNC-jyrsintä, kolme CNC-sorvia, manuaalisorvi, työkalujyrsin ja ruuvikompressori. Yhteenlaskettu sähköteho koneilla on noin 10 kW, joka voidaan ajatella suoraan hallia lämmittäväksi lämmitystekohksi. Halli on varsinkin kesäaikaan todella kuuma. Kesällä lämpötila hallissa nousee helposti yli 35 °C:seen, jolloin työteho ja koneistuksen mittatarkkuus kärsivät. Mittatarkkuuden kannalta olisi parasta, jos hallissa olisi tasainen 20 °C:n lämpötila.

Toinen ongelma liittyy lämmön talteenottoon. Koneistuksessa syntyy öljysumua, joka pyritään poistamaan koneissa olevien kohdepoistojen öljynerotusjärjestelmillä. Tästä huolimatta sitä on jonkin verran ilmassa. Tästä syystäärkevin lämmöntalteenottojärjestelmä on nestekiertoinen järjestelmä, jonka lämpötilahyötysuhde on kuitenkin matala, 45...55 %.

Työn tavoitteena on kehittää toimiva ja kustannustehokas jäähdytysjärjestelmä koneistamon viilennykseen. Toinen tavoite on suunnitella lämmöntalteenottolaitteisto, jolla saadaan tuotannossa syntyvää hukkalämpöä siirrettyä käyttöveden ja samassa pihassa olevan asuinrakennuksen lämmitykseen.

2 JÄÄHDYTYS

Jäähdytys tarkoittaa lämpöenergian siirtämistä säteilyn, johtumisen, konvektion tai haihtumisen avulla pois jäähdytettävästä kohteesta. Jäähdytystä käytetään runsaasti esimerkiksi rakennusten ilmanvaihdon yhteydessä, jolloin helteelläkin tilojen lämpötila voidaan pitää miellyttävänä. Jäähdytystä käytetään myös sisäisten lämpökuormien kumoamiseen teollisuudessa.

Erilaisia jäähdytysmahdollisuuksia on useita. Tässä perehdytään tarkemmin niistä kahteen, aktiiviseen jäähdytykseen, jossa käytetään lämpöpumpputekniikkaa, ja passiiviseen jäähdytykseen, jossa maapiirin liuos kierrätetään suoraan jäähdytyslaitteelle.

2.1 Aktiivijäähdytys

Aktiivijäähdytyksessä käytetään hyväksi lämpöpumpputekniikkaa, jossa kompressorilla kierrätetään kylmäainetta lauhduttimen ja höyrystimen välillä. Höyrystimellä jäähdytetään nestettä, joka kiertää jäähdytyslaitteessa. (1, s. 10.)

Lämpöpumpulla saadaan tuotettua lämpöä hyvällä hyötysuhteella. Suorituskerroin COP (Coefficient Of Performance) on lämmityskäytössä 2,5...3. Esimerkiksi suorituskerroin COP 3 tarkoittaa, että 1 kWh käytettyä sähköenergiaa lämpöenergian siirtämiseen tuottaa 3 kWh lämpöä (2). Vastaavasti kylmäkerroin ϵ on noin 2, eli yhdellä kWh:lla saadaan 2 kWh jäähdytysenergiaa.

2.2 Passiivijäähdytys

Edullisin ja ympäristöystävällisin keino jäähdyttää kiinteistöjä on passiivijäähdytys, josta käytetään myös nimiä maajäähdytys, maakylmä ja maaviileä.

Passiivijäähdytyksessä hyödynnetään maaliuosta, joka kiertää keruuputkistossa. Keruuputkisto on asennettu maalämmön energialähteeksi porattuun lämpö-

kaivoon, upotettu perusmaahan tai vesistöön. Energialähteen lisäksi passiivijäähdytyksen hyödyntämiseen tarvitaan kiertovesipumppu ja jäähdytin. Kiertovesipumpulla energia siirretään joko säteilyjäähdyttimiin tai puhallinkonvektoreihin, joilla jäähdytys voidaan jakaa kiinteistön tiloihin. (3.)

Passiivikylmää voi käyttää myös teollisuuslaitosten sekä liikekiinteistöjen jäähdyttämiseen. Passiivikylmän hyödyntäminen lyhentää maalämpöjärjestelmän takaisinmaksuaikaa entisestään etenkin suurissa kohteissa. Passiivijäähdytys on hyvin edullista ilmaisen jäähdytysenergian osuuden ollessa 95...98 %. Sähköenergiaa kuluu vain kiertovesipumpun ja puhallinkonvektorin toimintaan. Maajäähdytyksen avulla vältetään lisäksi jäähdytyskoneiden aiheuttamilta meluhaitoilta, ja niiden viemä tila voidaan käyttää muuhun tarkoitukseen. (3.)

2.3 Kylmän jako tiloihin

Maakylmä jaetaan huoneistoon joko ilmanvaihdon kautta tai puhallinkonvektorilla. Ilmanvaihdon kautta tapahtuva jäähdytys toteutetaan joko LTO-kojeella tai erillisessä kanavapatterissa. Tämä vaihtoehto on vartenotettava uudiskohteissa, jolloin maajäähdytys voidaan ottaa huomioon jo suunnitteluvaiheessa, esimerkiksi ilmavirtojen riittävydessä, jäähdytyspattereiden mitoituksessa ja ilmanvaihtokanavien riittävässä lämpöeristyksessä. (3.)

Puhallinkonvektori koostuu lämmönsiirtimestä ja puhaltimesta, joka kierrättää huoneilman siirtimen läpi. Puhallinkonvektori voidaan sijoittaa esimerkiksi seinälle tai kattoon. (3.)

2.4 Lämpökaivo

Lämpökaivolla tarkoitetaan kallioon porattavaa porakaivoa, jota käytetään lämpöpumpun lämmönlähteenä ja jota voidaan käyttää myös viilennykseen. Lämpökaivon toiminta perustuu pohjaveden ja peruskallion luovuttamaan energiaan. Lämpökaivo tulee mitoittaa tarpeeksi tehokkaaksi, ettei se pääse jäätymään.

Lämpökaivosta saatava energian määrä riippuu kallion laadusta ja kaivon syvyydestä, joka on yleensä 100...200 m. Suunniteltaessa lämpökaivoa sen porausvyvyttä voidaan arvioida tarvittavan tehon ja energian sekä kyseessä olevan maaperän ominaisuuksien pohjalta. Tarkkaa mittaa ei voida tietää ennen kuin poraus on suoritettu ja nähdään, mikä on kaivon aktiivisyvyys eli mihin asti pohjavesi nousee porausreiässä. Jos kaivo ei täyty itsestään vedellä, se voidaan täyttää tai kallio voidaan räjäyttää paineella halki, jolloin pohjavesi pääsee halkeamista kaivoon. Kaivoille voidaan tehdä myös terminen vastetestti (TRT-mittaus) ja EED-simulointi (Earth Energy Designer), joilla voidaan arvioida tarvittavaa syvyyttä ja kaivojen lukumäärää. Yhden kaivon maksimisyvyytenä pidetään noin 200 m:ä, jonka jälkeen pumppauskustannukset kasvavat ja putket alkavat luovuttamaan toisiinsa enemmän lämpöenergiaa, eli terminen oikosulku pahenee. (4.) Kokemuseräisesti tiedetään kaivosta saatavan noin 100 kWh/m vuodessa (5).

Jos yhdestä porakaivosta ei saada tarvittavaa energiaa, joudutaan poraamaan useampia kaivoja. Kaivojen etäisyys toisistaan pitää olla 10...20 m. Mikäli kaivot porataan liian lähelle toisiaan, ne alkavat vaikuttaa toisiinsa ja voivat jäätyä.

2.5 Vaakakenttä

Vaakakentässä maaperään varastoitunutta lämpöä kerätään talteen maahan asennetun keruuputkiston avulla. Putkisto on yleensä normaalia muovista vesijohtoputkea, jonka asennusväli on hyvä olla 1,5 m ja asennussyvyys noin 1 m. Mitä syvemmälle putki kaivetaan, sitä enemmän siitä saadaan lämpö- tai jäähdytysenergiaa. Tähän syynä on syvemmällä oleva kosteampi maa, jolla on parempi lämmönjohtavuus. Saatavaan vuotuiseen lämpömäärään ja tehoon vaikuttaa myös sijainti (taulukko 1).

TAULUKKO 1. Maasta vaakaputkistolla saatava energia ja teho (6, s. 79)

Sijainti	Maaperä	Energia, kWh/m	Teho, W/m
Etelä-Suomi	Savi	50-60	20
	Hiekka	30-40	14
Pohjois-Suomi	Savi	30-35	14
	Hiekka	0-10	5

Liian pintaan tai tiheään asennettu keruuputkisto aiheuttaa maan jäätymisen lämmityskäytössä, jolloin lämpöpumppu ei toimi oikein ja joudutaan käyttämään varalämmönlähdettä, yleensä sähkövastuksia. Jäähdytyskäytössä maa vastavasti lämpenee liikaa. (4.) Liian syvälle kaivettu putkisto voi jäätymä myös pelkässä lämmityskäytössä, jolloin maa ei ehdi sulaa kesän aikana. Tätä ongelmaa ei tule, jos maapiirillä myös jäähdytetään eli sinne johdetaan lämpöenergiaa jäähdytyskaudella.

3 LÄMMITYS

Kiinteistöjen sisätilojen ja käyttöveden lämmitykseen on monia vaihtoehtoja: kaukolämpö, aurinkoenergia, puu-, öljy- tai pellettilämmitys, suorasähkölämmitys ja lämpöpumpputekniikat. Myös näiden erilaiset yhdistelmät eli hybridijärjestelmät ovat mahdollisia vaihtoehtoja lämpöenergian tuottamiselle.

Kannattavimman järjestelmän valintaan vaikuttavat kiinteistön sijainti ja koko. Käyttökustannuksiltaan halvin on maalämpö ja perustamiskustannuksiltaan halvin on suorasähkölämmitys.

3.1 Maalämpö

Maalämpö on maahan sitoutunutta aurinkoenergiaa. Aurinkoenergia varastoituu kesäaikana vesistöihin, kallioon ja maaperään. Syvällä kalliossa lämpö on geotermistä energiaa jota syntyy radioaktiivisten aineiden hajoamisesta. Lämmönkeruu voidaan toteuttaa porakaivoilla tai vaihtoehtoisesti pintamaahan tai -vesistöön asennettavalla vaakaputkistolla. (7, s. 7.)

3.2 Lämmöntalteenotto

Poistoilmasta saatavaa lämpöä voidaan käyttää ilmastoinnin tuloilman esilämmitykseen tai lämmittämään puskurivaraajaa. Varaajasta lämpöä voidaan käyttää lämmityksen ja lämpimän käyttöveden esilämmitykseen.

3.2.1 Nestekiertoinen järjestelmä

Nestekiertoisessa lämmöntalteenottojärjestelmässä väliaine siirtää energiaa kahden lämmönvaihtimen välillä. Nesteenä käytetään yleensä vesietyleeniglykoliseosta, jonka vahvuus on noin 30...40 %. Jos nesteen jäätymisriskiä ei ole, voidaan käyttää pelkkää vettä jolla on parempi lämmönsiirtokyky. Veden ominaislämpökapasiteetti on 4,19 kJ/kg/K ja puhtaan etyleeniglykolin ominaisläm-

pökapasiteetti on 2,36 kJ/kg/K (8). Käytettävän vesietyleeniglykoliseoksen vahvuus on 40 % ja ominaislämpökapasiteetti 3,46 kJ/kg/K. (Kaava1.)

$$c_{p\ 40\ \% \ glykoli} = c_{p\ vesi} \times 60\% + c_{p\ glykoli} \times 40\% \quad \text{KAAVA1}$$

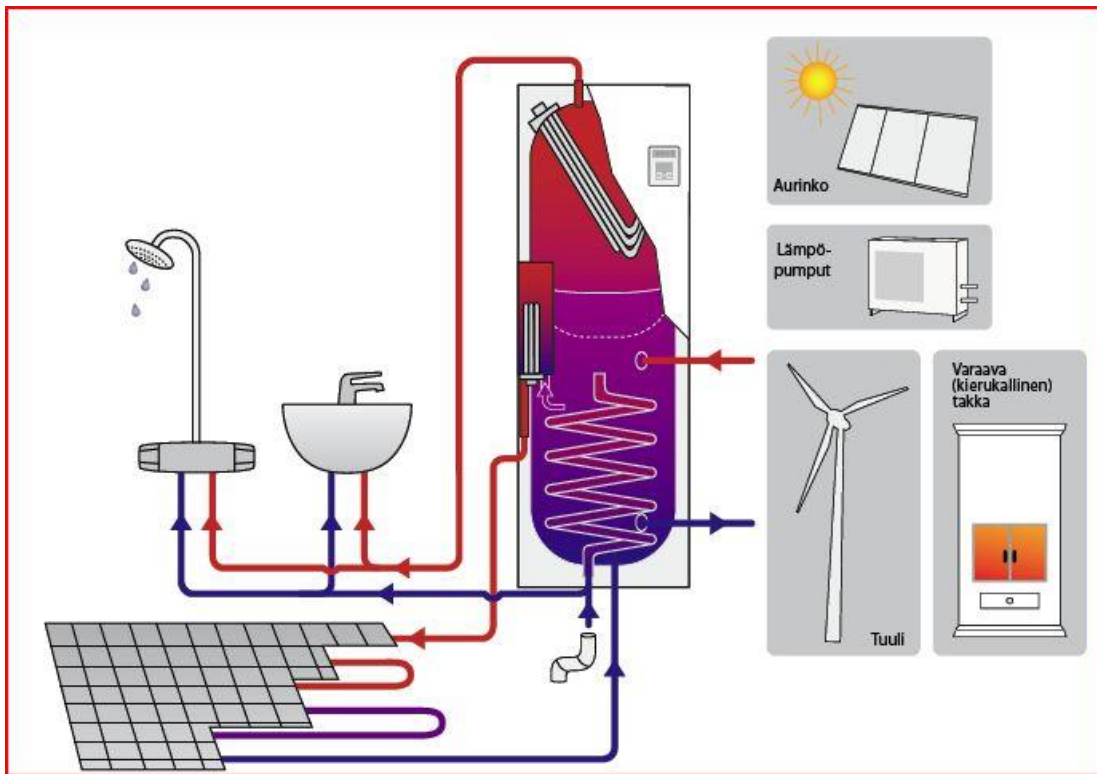
c_p = ominaislämpökapasiteetti (kJ/kg/K)

Patterin rakennevaihtoehtoja on useita. Yleisin on lamellipatteri, jota käytetään esimerkiksi ilmanvaihtojärjestelmissä. Likaisissa olosuhteissa joissa patteri pitää voida puhdistaa helposti, vaihtoehtoina ovat harvalamellinen lamellipatteri, ripaputkipatteri, neulaputkipatteri tai harjalämmönsiirrin. Näissä kaikissa on sama toimintaperiaate. Erilaisilla rakenteilla on haettu parempaa lämmönsiirtokykyä kasvattamalla lämmönsiirtopinta-alaa painehäviöiden nousematta ja puhdistettavuuden kärsimättä. Lämpötilahyötysuhde ei ole nestekiertoisessa järjestelmässä kovin hyvä jääden noin 40...50 %:iin.

3.2.2 Energiavaraaja

Lämpöä varastoidaan, jotta energiakustannuksia voidaan pienentää ja kulutus-huippuja tasata, kun lämmöntuoton teho ja kulutus eivät kohtaa. Energiaa voidaan ostaa ja varastoida silloin, kun sen hinta on matalalla, esimerkiksi sähkön yötariffilla. Usein teollisuuden hukkalämpöä tai aurinkoenergiaa on päivällä saatavana enemmän kuin pystytään kuluttamaan. Toisaalta lämpöpumppu ei kykene vastaamaan hetkellisiin kulutuspiikkeihin kovilla pakkasilla tai kun lämpimän veden kulutus on suurta. Tällöin voidaan käyttää varastoitua energiaa hyväksi.

Energia on helppointa ja käytännöllisintä varastoida veteen. Lämminvesivaraajaa voidaan käyttää ylimääräisen lämmön varastointiin myöhempää käyttöä varten, esimerkiksi lämpimän käyttöveden valmistukseen. Varaaja voi olla myös useamman lämmönlähteen puskurivaraajana, jolloin sitä voidaan lämmittää aina edullisimmalla lämmönlähteellä (kuva 1).



KUVA 1. Esimerkkikuva energiavaraajan lämmönlähteistä (9, s. 2)

4 ILMANVAIHTO

Ilmanvaihtojärjestelmä on suunniteltava ja toteuttava siten, että tiloissa on kaikissa olosuhteissa ja käyttötilanteissa riittävän puhdas ja turvallinen ilma. Suunnittelussa on myös otettava huomioon mahdolliset epäpuhtaudet, joita syntyy teollisuuden tuotantoprosesseissa. (10, s. 9.)

Rakennuksen tilojen ilmavirrat ja painesuhteet tulee suunnitella siten, ettei likaisempaa ilmaa tuottavista tiloista pääse siirtymään ilmaa puhtaisiin tiloihin. Painesuhteet tulee suunnitella myös siten, ettei rakenteisiin kohdistu pitkäaikaista kosteusrasitusta. (10, s. 19.)

4.1 Tuotantotilat

Tuotantotilojen ilmanvaihdon määrään vaikuttavat käyttötarkoitus ja henkilömäärä. Ilmanvaihto mitoitetaan vähintään $10 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{hlö}$ tai $1,5 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$ Suomen rakentamismääräyskokoelman (jatkossa RakMk) mukaan. Laitosta voidaan myös käyttää pienemmällä ilmavirralla, jos tuotannossa syntyy vain vähän epäpuhtauspäästöjä ja suuria lämpökuormia ei ole. Tällöin voidaan erillisen selvityksen perusteella ilmavirtoja pienentää. (10, s. 30.)

4.2 Toimistotilat

Toimistotilojen ilmanvaihto on yleensä tuotantotiloista erillinen järjestelmä, joka toteutetaan omalla ilmanvaihtokoneella. Tiloista pitää tehdä hieman ylipaineisia, ettei tuotantotilojen huonompilaatuinen ilma pääse toimistotiloihin. Ilmamäärät mitoitetaan RakMk:n osan D2 mukaisesti.

5 ESIMERKKIKOHDE

Esimerkkikohde on Siikalatvan Mankilassa sijaitseva CNC-koneistamo, joka tarjoaa korkealuokkaisia koneistuspalveluja niin yrityksille kuin yksityisillekin. Yrityksen laajentuessa on tiloja laajennettu aina tarpeen mukaan, ja LVI-tekniikka ei ole enää vaatimuksien mukainen. Tiloista ei myöskään ole ajan tasalla olevia rakennuskuvia. Uudet pohjakuvat piirrettiin AutoCad-ohjelmalla. Piirretylle pohjakuvalle suunniteltiin toimisto- ja tuotantotilojen ilmanvaihto MagiCad-ohjelmistolla (liite 1). Tilojen lämpöhäviöt laskettiin Cads Planner-ohjelmalla (liite 2).

Kohteesta puuttuu ilmanvaihto käytännössä kokonaan ja lämmitys on hallien puolella yhden puhallinpatterin varassa. Lämmönjakohuoneessa/wc:ssä on vesikiertoiset patterit ja yläkerran toimisto- ja sosiaalitiloissa on sähköpatterit. Lämmitysmuotona on maalämpö, ja koneena on Nibe Fighter 1240.

Koneistamon tuotannossa syntyy erittäin paljon hukkalämpöä, joka voitaisiin käyttää hyödyksi esimerkiksi lämpimän käyttöveden tekoon ja vieressä olevan omakotitalon lämmitykseen. Lämpökuorman suuruus on noin 10 kW. Hukkalämmön vuoksi tiloja pitää jäähdyttää, sillä kesäaikana hallin lämpötila voi nousta yli 35 °C:n. Hallin jäähdytys pelkästään ilmanvaihdolla vaatii isoja ilmamääriä. Jotta kyseinen 10 kW saataisiin siirrettyä ilmanvaihdon jäähdytyksen kautta pois, vaatisi se vaihdettavaa ilmaa noin 1,05 m³/s, kun ulkoilma on 25 °C, sisäilma 25 °C ja tuloilma 17 °C (kaava 2).

$$q = \frac{\Phi}{c_p \cdot \rho \cdot \Delta T}$$

KAAVA 2

q = ilmavirta (m³/s)

Φ = teho (kW)

c_p = ilman ominaislämpökapasiteetti (kJ/kg/K)

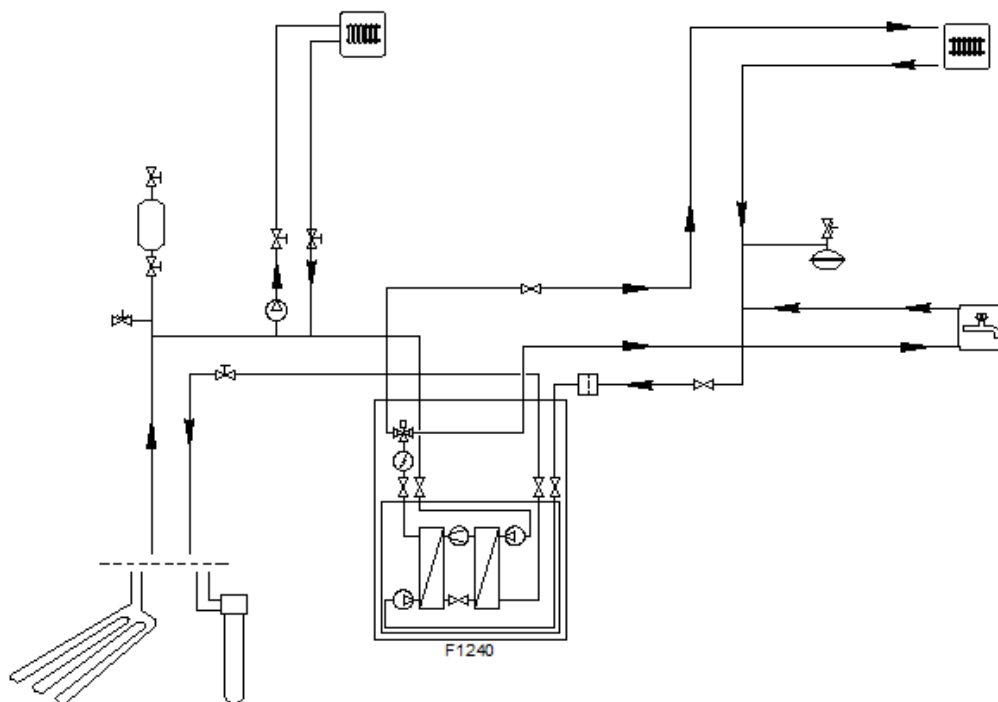
ρ = ilman ominaispaino (kg/m³)

ΔT = tulo- ja poistoilman välinen lämpötilaero (K)

$$q = \frac{10 \text{ kW}}{1,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} / \text{K} * 1,0 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * (25 - 17) ^\circ \text{C}} = 1,05 \text{ m}^3/\text{s}$$

5.1 Jäähdytys

Kohteessa ei ollut valmiina minkäänlaista jäähdytystä. Kohteeseen rakennettiin maalämpöpumpun liuospiiriin kiertajohto. Maakylmän kytkemiseen maalämpöpumpun rinnalle on useita eri vaihtoehtoja. Yleensä käytetään kytkentää, jossa liuos otetaan jäähdytyspatterille maasta tulevasta putkesta ja patterilta palaava putki kytketään takaisin samaan putkeen ennen maalämpöpumppua (kuva 2).



KUVA 2. Kiertopiiriin kytkentä

Tällöin pitää ottaa huomioon, ettei pumpulle menevä liuosnesteeseen lämpötila ylitä 30 °C:ta (11). Liuospiirin kiertojohto kytkettiin olemassa olevaan puhallinpatteriin, jolla oli aikaisemmin lämmitetty hallia (kuva 3). Samalla tehtiin kiertopiiriin varaus toimistotiloihin tulevan IV-koneen jäähdytyspatterille ja vietiin putket valmiiksi yläkertaan.

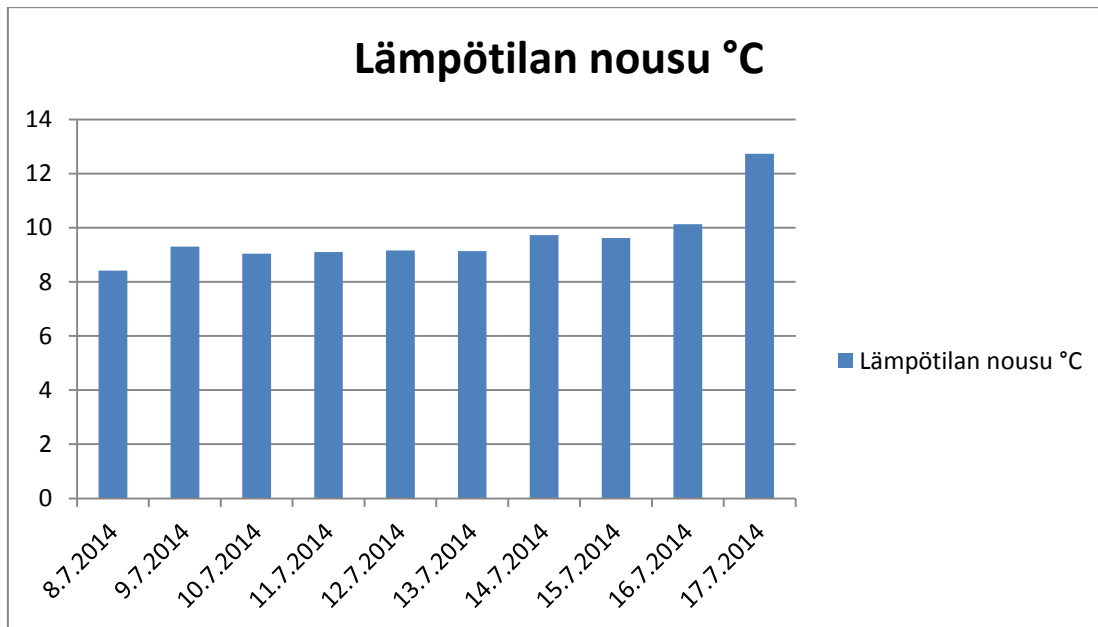


KUVA 3. Vanha puhallinkonvektori

Kiertopiiriin kytkettiin energiamittariksi Kamstrup Multical 602. Mittauksessa pitää ottaa huomioon, että mittari on kalibroitu vedelle ja mittarin arvoja ei voida käyttää sellaisenaan. Teho on laskettava käytettävän nesteen ominaislämpökapasiteetin arvoilla ja saadulla nestevirralla. Virtauksen mittari näyttää mittauksiensa mukaan oikein vaikka neste ei ollutkaan puhdasta vettä.

Kiertovesipumpuksi valittiin Grunfosin UPS 25-50, jolla liuosvirraksi tuli 0,14 l/s. Puhaltimen ilmavirta oli noin 0,22 m³/s. Tällä puhallinpatterilla saatiin jäähdytystehoksi 2,18 kW, jolloin maassa olevan kiertopiirin tehoksi saatiin noin 10,9 W/m. Saadulla teholla jäähdytettiin hallia heinäkuussa 2014 kymmenen päivän

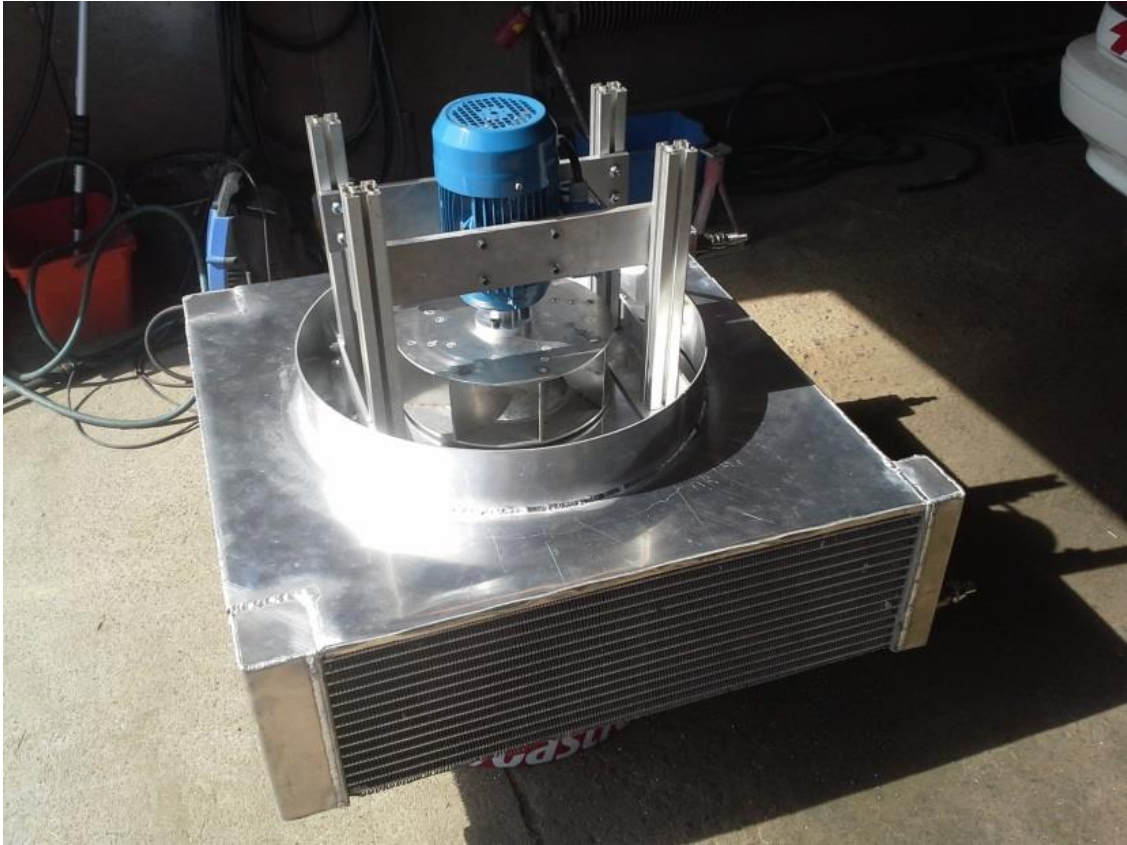
aikana noin 365 kWh. Tuona aikana maapiiristä tulevan liuoksen lämpötila nousi 8,4 °C:sta 12,7 °C:seen eli noin 4,3 °C (kuva 4).



KUVA 4. Lämpötilan nousu maapiirin liuoksessa

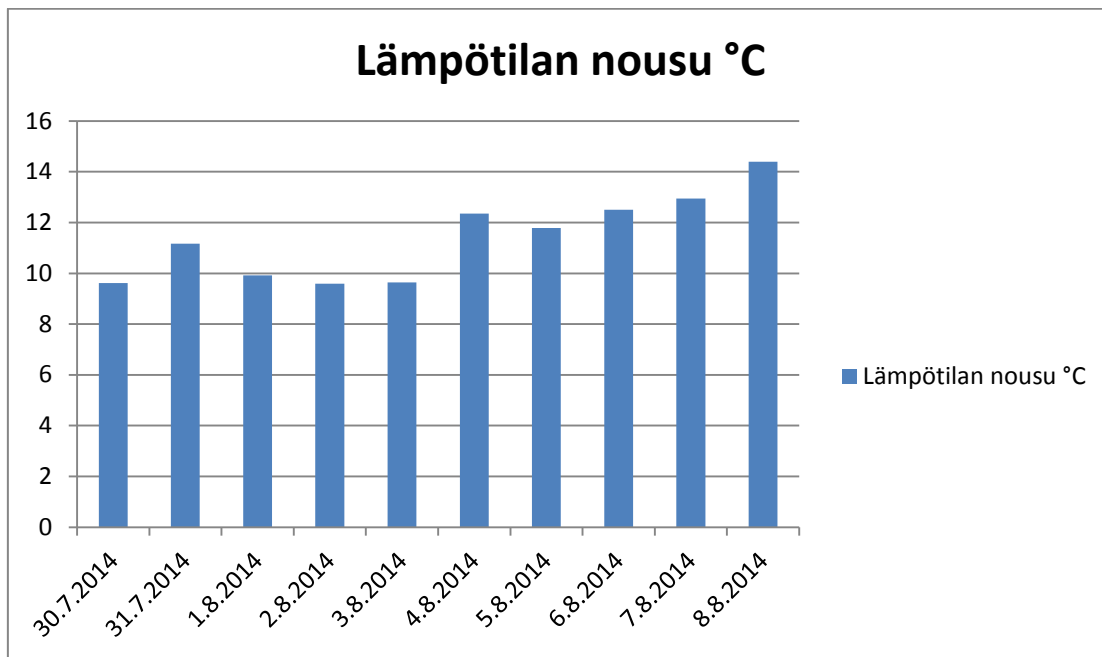
Jo näinkin lyhyestä mittauksesta nähtiin, ettei maapiirin teho riitä jäähdyttämään hallia koko jäähdytyskautta. Maan lämpötila nousee liikaa, vaikka jäähdytysteho oli vain noin viidesosa tarvittavasta tehosta. Tästä huolimatta päätettiin rakentaa tehokkaampi jäähdytyspuhallin vanhan jäähdytyspuhaltimen tilalle ja kokeilla, saataisiinko siten kasvatettua kylmätehoa jäähdytykseen.

Uusi jäähdytyspuhallin tehtiin tiheästä alumiinikennosta, jossa pinta-ala oli noin 40 % suurempi kuin vanhassa. Uudeksi puhallintyypiksi valittiin keskipakopuhallin, joka valmistettiin itse sähkömoottoria lukuun ottamatta (kuva 5). Myös liuospumppu vaihdettiin tehokkaampaan, ja pumpuksi tuli Grundfos UPS 20-60, jolla liuosvirta nousi arvoon 0,2 l/s.



KUVA 5. Uusi puhallinkonvektori asennusvalmiina

Uudella puhaltimella ja kennolla saatiin ilmapirtaa kasvatettua noin $0,6 \text{ m}^3/\text{s}$. Samalla hetkellinen jäähdytysteho nousi noin $3,6 \text{ kW}$:iin, ja maassa olevan putken teho noin $18 \text{ W}/\text{m}$. Uudella jäähdytyspuhaltimella mitattiin kymmenen päivän aikana saaduksi jäähdytysenergiaksi 343 kWh ja maapiiristä tuleva liuoksen lämpötila nousi $9,6 \text{ }^\circ\text{C}$:sta $14,4 \text{ }^\circ\text{C}$:seen eli noin $4,8 \text{ }^\circ\text{C}$ (kuva 6).



KUVA 6. Lämpötilan nousu maapiirin liuoksessa

Liuosvirran nopeus ja putkiko vaikuttavat lämmönsiirtymiseen nesteestä putkeen. Lämmönsiirron kannalta laminaarinen virtaus ei ole edullinen, virtauksen laatua kuvataan Reynoldsin luvun avulla. Reynoldsin luku on dimensioton luku, joka kertoo onko virtaus laminaarista vai turbulენტtista. Reynoldsin luvun ollessa alle 2300 on virtaus täysin laminaarinen, luvun ollessa 2300...4000 on kyseessä siirtymä alue jolloin virtaus voi vaihdella molempien välillä, ja luvun ollessa yli 10 000 on virtaus täysin turbulენტtinen. Reynoldsin luku maapiirissä on pienemmällä liuosvirralla 1070 ja isommalla liuosvirralla 1530, joten molemmat virtaukset ovat laminaarisia (kaava 3).

$$Re = \frac{v d}{\gamma}$$

KAAVA 3

v = nesteen nopeus putkessa (m/s)

d = putken halkaisija (m)

γ = kinemaattinen viskositeetti (m^2/s)

$$Re_{0,14\text{l/s}} = \frac{0,168 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 0,0326 \text{m}}{5,108 * 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} = 1070$$

$$Re_{0,20l/s} = \frac{0,239 \frac{m}{s} * 0,0326m}{5,108 * 10^{-6} \frac{m^2}{s}} = 1529$$

Vastaavasti puhallinpattereissa virtaus on siirtymäalueella molemmilla virtauksilla. Reynoldsin luku on 2680 pienemmällä virtaamalla vanhassa puhallinpatterissa, ja uudessa puhallinpatterissa suuremmalla virtauksella Reynoldsin luku on 3323.

$$Re_{0,14l/s} = \frac{1,05 \frac{m}{s} * 0,013m}{5,108 * 10^{-6} \frac{m^2}{s}} = 2680$$

$$Re_{0,20l/s} = \frac{1,51 \frac{m}{s} * 0,015m}{5,108 * 10^{-6} \frac{m^2}{s}} = 3323$$

Nyt tehdyissä mittauksissa Reynoldsin luku on molemmissa niin lähellä samaa, ettei sillä oletettavasti ole isoa vaikutusta saatuun tehoon. Uuden puhallinpatterin suurempi teho saadaan patterin isomman pinta-alan sekä suuremman liuosvirran ansiosta.

Mittauksien perusteella voidaan arvioida, että maapiirin liuos lämpenisi kuukauden yhtäjaksoisella käytöllä noin 12,5 °C. Jäähdytystä tarvittaisiin ainakin kolmen kuukauden ajan jäähdytyskaudella ja tehoa tarvittaisiin kolminkertaisesti nyt saatavaan verrattuna, joten maapiiristä ei voi saada tarvittavaa tehoa jäähdytykseen. Vaihtoehtona maapiirille on tehdä porakaivo, josta voisi saada tarvittavan jäähdytystehon ja joka riittäisi paremmin lämmitykseenkin, tai asentaa jokin erillinen järjestelmä kylmän tuottamiseen.

5.2 Lämmitys

Hallin lämmitys on yhden puhallinpatterin ja kolmen vesikiertoisen patterin varassa. Lämpöenergia näihin tulee samasta maalämpöpumpun lämmityspiiristä, johon vieressä oleva omakotitalo on kytketty. Toimistotilojen lämmitys on toteutettu suoralla sähkölämmityksellä.

Tuotannon ollessa käynnissä hallissa ei tarvita erillistä lämmitystä, sillä koneet tuottavat vaadittavan lämmitystehon. Seisokkiaikoina halli tarvitsee noin 8 kW:n lämmitystehon, jotta se pysyy lämpimänä.

5.3 Ilmanvaihto

Kohteessa on ainoastaan painovoimainen ilmanvaihto, joka on riittämätön. Toimistotiloihin tulee koneellinen ilmanvaihto, joka toteutetaan Vallox Digit 2 SE -ilmanvaihtokoneella, jonka etulämmityspatteri voidaan kytkeä maalämpöpumpun liuospiiriin. Tällöin tuloilmaa voidaan talvella esilämmittää ja kesällä vastavasti jäähdyttää. Toimistotilojen ilmavirrat on laskettu taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Toimistotilojen ilmavirrat RakMk:n osan D2 mukaan

	TULO	POISTO
	l/s	l/s
Toimisto	22	0
Ruokailu	60	30
Pukuhuone	50	60
WC/suihku	0	20
yht.	132	110

Hallin ilmanvaihto pitää tehdä myös vastaamaan tämänhetkisiä rakennusmääräyksiä, jotka löytyvät RakMk:n osasta D2. Tarvittava minimi-ilmamäärä on $1,5 \text{ l/s/m}^2$ eli noin $0,6 \text{ m}^3/\text{s}$ (10, s. 30). Jäähdytystarpeen vuoksi ilmanvaihtokone on mitoitettava kumminkin $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ tuottavaksi, jolloin siinä on mahdollisuus tehostaa jäähdytystä, jos lämpökuormat lisääntyvät, esimerkiksi koneita tulee lisää tai hallia laajennetaan. Lisäksi koneille on oltava omat kohdepoistot öljynerotuksella varustettuna koneistuksessa syntyvän öljysumun vuoksi. Koneiden kohdepoistoina ovat ilmaa kierrättävät syklonipuhdistimet, jotka erottavat öljysumun ilmasta.

IV-koneen jäähdytyspatteri mitoitettiin Fläkt Woodsilta saatavalla Coils-mitoitusohjelmalla. Ohjelma antoi patterin kooksi 800 x 800 mm ja patterin tehoksi tuli 14 kW ilmavirralla 1,5 m³/s (kuva 8).

Coils Lämmitys-/jäähdytyspatterit - [Harjoitus]

Arkisto Näytä Vaihtoehto Ohje

Vesi Höyrystin Höyry Lauhdutin

Id
Tunniste: (Nimetön)

Patterisovellus
Patterisovellus Kanavapatteri

Ilma
Virta, m³/s: 1 1.00
Lämpötila sisään, °C: 25 25.0
Tuloilman kosteus, %: 60
Lämpötila ulos, °C: 17 17.2
Poistoilman kosteus, %: 86
Nopeus, m/s: 1.6
Painehäviö, Pa: 32

Vesi
Lämpötila sisään, °C: 10 10.0
Lämpötila ulos, °C: 13.3
Virta, l/s: 1 1.00
Etyleeniglykolia, paino %:
Nopeus, m/s: 1.0
Painehäviö, kPa: 14

Teho
Teho, kW: 14.0

Ilmapuolen kehys
☐ Reiitetty laippaliitos ☒ Työntölistaliitos

Patteri
☐ Koteloidut kokoojaputket ☒ Näkyvissä olevat kokoojaputket
Tyypit: QFCG QFCG
Kanavan liitosmitta, leveys, mm: 800 800
Kanavan liitosmitta, korkeus, mm: 800 800
Putkirivien lukumäärä: 3
Lamellijako: 2.5
Vesiteiden määrä: 8
Liitäntäpuoli: Ei määritetty
Liitäntäkoko DN: DN1x32

Tuotetunnus ja hinta
QFCG-080-080-03-25-08-0-A X ...
QFCG-080-080-03-25-08-0-A
Hinta: Hinta pyydettäessä Pattereitten lkm.: 1

KUVA 8. Jäähdytyspatterin mitoitus

5.4 Vaakakentän mitoitus

Vaakakenttä on aikanaan mitoitettu asuinrakennuksen ja navetan lämmitykseen. Maassa on kaksi rinnakkaista noin 200 m:n keruupiiriä, ja keruupiirin putkenä on PEM-vesijohtoputki 40x3,7 mm. Keruupiirit on yhdistetty jo 30 m ennen teknistä tilaa. Käytössä on oletettavasti ollut ainoastaan toinen keruupiireistä, sillä neste menee sieltä, mistä helpoimmin pääsee. Mittauksien perusteella voi huomata, että neste kulkee välillä toisenkin piirin kautta, mutta suurimman osan ajasta samaa kiertopiiriä. Lämpötilamittauksessa näkyi välillä kylmempi piikki, jonka arvioitiin johtuvan siitä, että neste kulkikin välillä toisessa piirissä.

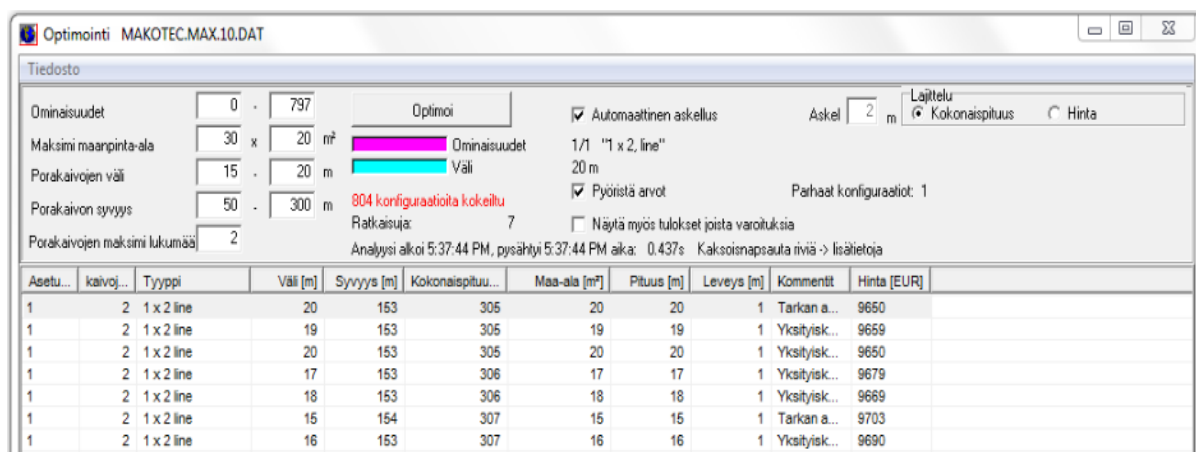
Nykyisestä putkistosta saatiin parhaimmillaan 3,6 kW jäähdytystehoa eli 18 W/m.

Parannuksena kentän tehoon pitäisi kiertopiirien yhdistymiskohta kaivaa esille ja jatkaa molemmat piirit lämmönjakohuoneeseen asti, jolloin voitaisiin jakotukissa tasapainottaa piirit siten, että liuos kiertää molemmissa piireissä. Tämä parantaisi myös talvella lämmitystä, joka nyt on kovimmilla pakkasilla riittämätön asuinrakennuksen ja hallin lämmittämiseen silloin, kun hallissa ei työskennellä. Yksi vaihtoehto olisi kaivaa uusi ja pidempi kiertopiiri syvemmälle maahan noin 2...3 m:iin. Koska hallissa on jäähdytystä jolla maahan viedään lämpöä, ei maan routimisesta ole pelkoa. Pelkästään lämmityskäyttöön ei kiertopiiriä voida asentaa näin syvälle.

5.5 Porakaivon mitoitus

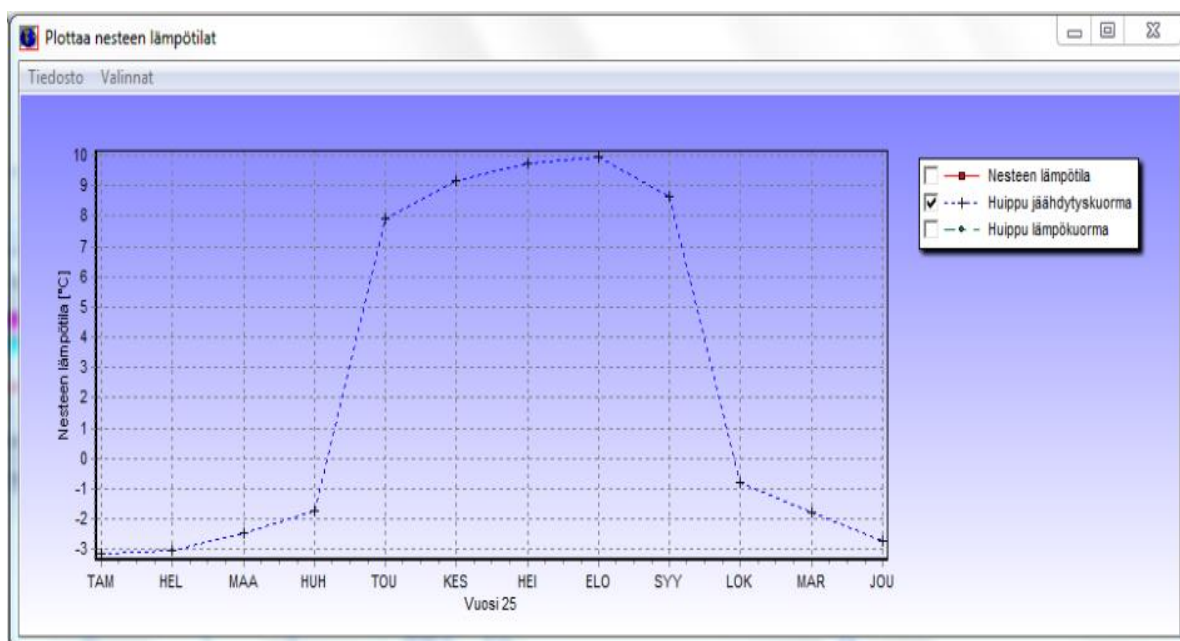
Porakaivoa mitoitettaessa tähän kohteeseen käytettiin EED-ohjelmaa (Earth Energy Designer), jossa itsessään on osa tarvittavista lähtöarvoista Oulun seudulle. Ohjelman lähtöarvot olivat maaperän lämmönjohtavuus 3,24 W/(m/K), maaperän lämpökapasiteetti 2,2 MJ/(m³/K), maanpinnan keskilämpötila 2,0 °C ja maaperän lämpövuoto 0,04 W/m². Peruskallion syvyydeksi arvioitiin noin 20 m samalla seudulla tehtyjen porausten perusteella (12).

Ohjelmalla simuloitiin tilannetta, jossa kaivosta otetaan energiaa koneistamon ja viereisen omakotitalon lämmittämiseen sekä koneistamon jäähdyttämiseen silloin, kun hallin lämpötila nousee liian kuumaksi. Käytännössä jäähdytyskausi on toukokuusta syyskuuhun, jolloin hallissa ei tarvita lämmitystä lainkaan. Jäähdytyskautena porakaivoon ajetaan yhteensä noin 7 MW/h lämpöenergiaa. Optimoiminn tuloksena EED-ohjelmalla saatiin kaivojen lukumääräksi kaksi 153 m syvää kaivoa (kuva 7).



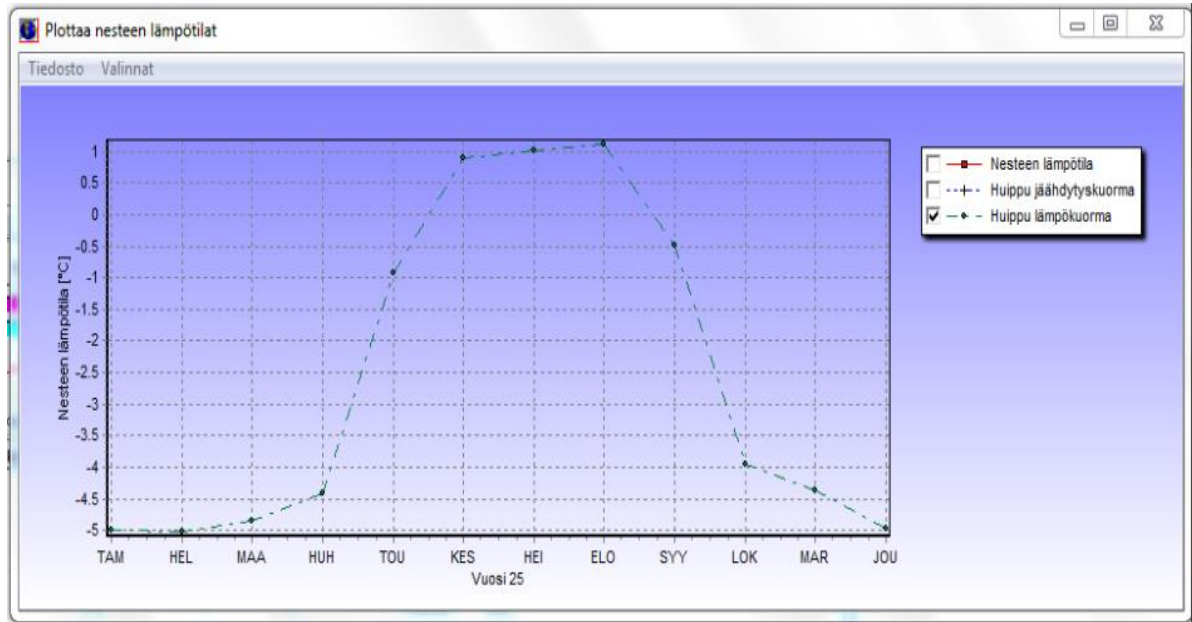
KUVA 7. Kaivojen optimointi

Simuloinnin tuloksista nähdään, että liuosnesteeseen lämpötila nousee aika korkeaksi huippujäähdytyskuormalla ja on elokuun lopussa 10,0 °C (liite 3). Tämän perusteella ilmanvaihtokoneen jäähdytyspatteri pitää mitoittaa lämpötiloilla 10...15 °C normaalin 7...12 °C:n sijaan. Kuvasta 8 nähdään liuosnesteeseen lämpötilat normaalitilanteessa eli kesällä jäähdytettäessä ja talvella lämmitettäessä kiinteistöä.



KUVA 8. Liuosnesteeseen lämpötila jäähdytys- ja lämmityskäytössä

Kuvassa 9 on vertailun vuoksi samojen kaivojen lämpötilat tilanteessa, jossa kiinteistössä ei käytetä jäähdytystä kesällä. Kuten huomataan, lämpötila on huomattavasti alhaisempi.



KUVA 9. Liuosnesteen lämpötila pelkässä lämmityskäytössä

Porakaivoja mitoittaessa on tärkeää, että liuosvirta on turbulenttisella alueella, jotta lämmönsiirto kaivosta nesteeseen toimii oikein. Porakaivot on mitoitettu liuosvirralla 1 l/s, jolloin Reynoldsin luku on 6186 eli virtaus on turbulenttista. Jäähdytystilanteessa liuospiirien kiertovesipumput käyvät kokoajan maalämpökoneen oman liuospumput rinnalla.

6 INVESTOINNIT

Esimerkkikohteeseen laskettiin investointikuluja lämmöntalteenotolle, jäähdytykselle ja ilmanvaihdolle. Kaikki hinnat on esitetty alv. 0 %. Uudelle maalämpöjärjestelmälle ei laskettu kustannusarviota lukuun ottamatta maalämpökaivoja, jotka pitää porata joka tapauksessa, jos jäähdytystä halutaan tehostaa. Uuden maalämpöjärjestelmän investointi tulee tarpeelliseksi, jos toinen hallirakennus päätetään tehdä.

6.1 Maalämpökaivo

Maalämpökaivon kustannuksiin vaikuttaa eniten pehmeän pintamaan osuus kaivon syvyydestä. Pehmeään maahan asennetun metrihinta on yli kaksinkertainen kallioon porattuun verrattuna. Esimerkkikohteeseen pitää porata kaksi 153 m syvää kaivoa, joiden kustannus on yhteensä noin 9064 €. (Taulukko 3.) Kaivojen hintoja on arvioitu Ekoporaus Oy:ltä saatujen tietojen perusteella (13).

TAULUKKO 3. Yhden maalämpökaivon kustannukset

Yhden maalämpökaivon kustannukset			
	Hinta	Pituus	Kustannus
	€/m	m	€/alv 0 %
Poraus pehmeä maa	62,8	20	1256
Poraus kallio	23,4	140	3276
		YHT.	4532

6.2 Lämmöntalteenotto ja jäähdytys

Lämmöntalteenoton kustannukset on laskettu oletuksella, että toimiva ilmanvaihto on jo olemassa. Lämpö otetaan talteen jäähdytykseen käytettävillä puhallinkonvektoreilla ja saatava lämpöenergia käytetään lämpimän käyttöveden esilämmitykseen. Kustannuksia järjestelmästä tulisi maalämpökaivojen lisäksi noin 4600 €. (Taulukko 4.)

TAULUKKO 4. Lämmöntalteenoton kustannukset

Lämmöntalteenoton kustannukset			
	€/kpl	kpl	€/alv 0 %
Energiavaraaja	2375	1	2375
Pumppu	300	1	300
Konvektorit	480	2	960
Asennustarvikkeet	1000	1	1000
		YHT.	4635

Lämpimän käyttöveden esilämmityksellä voitaisiin säästää tämän opinnäytetyön kohteessa noin 14 kWh sellaisina päivinä, jolloin koneistamo on toiminnassa ja jäähdystystä käytetään. Tällaisia päiviä on vuodessa noin 100, joten vuotuinen säästö on noin 1400 kWh. (Kaava 3.) Jos sähkön hinnaksi arvioidaan 0,1 €/kWh saataisiin säästöä ainoastaan 140 € vuodessa.

$$Q = \frac{q \cdot c_p \cdot \rho \cdot \Delta T}{\frac{s}{h}} \quad \text{KAAVA 4}$$

Q = säästettävä energia vuorokaudessa (kWh)

q = käytettävä lämpimän veden määrä vuorokaudessa (m^3)

c_p = veden ominaislämpökapasiteetti (kJ/kg/K)

ρ = veden ominaispaino (kg/m^3)

s/h = kerroin joka muuttaa tehon (kW) energiaksi (kWh)

ΔT = kylmän ja esilämmitetyn veden lämpötilaero (K)

$$Q = \frac{0,6 m^3 / vrk \cdot 4,2 \frac{kJ}{kg \cdot K} \cdot 1000 \frac{kg}{m^3} \cdot (25 - 5) ^\circ C}{3600 \frac{s}{h}} = 14 kWh$$

6.3 Ilmanvaihto

Tuotantotilojen ilmanvaihtojärjestelmän kustannukset on laskettu konekoolla, joka riittää myös hallin laajennusosan valmistuessa. Valittu IV-kone pystyy tuot-

tamaan ilmaa 1,5 m³/s ja pitämään sen 17 °C:ssa kesän mitoitustilalla 25 °C. Koneen suunnittelussa on käytetty FläktWoods Acon -mitoitushjelmaa. IV-koneen ja automaatiojärjestelmän hintatarjous on saatu valintaohjelmaan syötettyjen tietojen perusteella. (14.) Muiden tarvikkeiden hinnat on saatu eri laitetoimittajien hinnastoista. (Taulukko 5.)

TAULUKKO 5. Tuotantotilojen ilmanvaihtojärjestelmän kustannukset

Ilmanvaihtojärjestelmän kustannukset			
	€/kpl	kpl	€/alv 0 %
IV-kone	17000	1	17000
Automaatio	4000	1	4000
Päätelaitteet tuloilma	454	7	3178
Päätelaitteet poistoilma	509	4	2036
Ulkosäleikkö	322	1	322
Ulospuhallus	603	1	603
Putket	1048	1	1048
Mutkat/haarat	976	1	976
Eristeet	2287	1	2287
Pumput	228	2	455
		YHT.	31904

Tavallisesta järjestelmästä poiketen hintaa korottaa suuren jäähdytystarpeen huomioon ottaminen. Jäähdytyspatteri on tavallista isompi, ja koko tuloilma-kanavisto pitää lämpöeristää kosteudenkestävällä eristeellä, joka on noin kaksikertaa kalliimpaa kuin normaalisti käytettävä eristemateriaali.

Toimistotilojen ilmanvaihdon kustannukset on laskettu IV-koneella joka on varustettu etulämmityspatterilla. Etulämmityspatterissa kierrätetään maaliuosta, jolla talvella lämmitetään ja kesällä jäähdytetään tuloilmaa. Tässäkin järjestelmässä hintaa nostaa jäähdytyksen käyttö. (Taulukko 6.)

TAULUKKO 6. Toimistotilojen ilmanvaihtojärjestelmän kustannukset

Ilmanvaihtojärjestelmän kustannukset			
	€/kpl	kpl	€/alv 0 %
IV-kone	1733	1	1733
Päätelaitteet tuloilma	55	5	275
Päätelaitteet poistoilma	17	4	68
Ulkosäleikkö	176	1	176
Ulospuhallus	603	1	603
Putket	308	1	308
Mutkat/haarat	135	1	135
Eristeet	685	1	685
Kiertopumppu	228	1	228
		YHT.	4211

7 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli kehittää jäähdytys- ja lämmöntalteenottojärjestelmä koneistamon tarpeisiin.

Yhteenvedona voidaan todeta, ettei nykyisestä maapiiristä voida saada tarpeeksi jäähdytystehoa opinnäytetyön kohteena olevan hallin viilentämiseen. Maapiiri riittäisi hyvin toimistotilojen jäähdytykseen sinne asennettavan ilmanvaihtokoneen kautta, silloin sillä voitaisiin talvella myös esilämmittää tuloilmaa.

Hallin puolen viilentämiseen tarvitaan uusi kylmänlähde. Mitoituksien mukaan kaksi noin 160 m syvää maalämpökaivoa riittäisi hyvin tarvittavan jäähdytysenergian lähteeksi. Kaivoista saatava kylmä voidaan jakaa tiloihin joko tulevaisuudessa rakennettavan ilmastoinnin kautta tai erillisillä puhallinkonvektoreilla.

Yhtenä vaihtoehtona on ohjata tuotannosta syntyvää kuumaa ilmaa suoraan ulos, jolloin jäähdytyksen tarve luonnollisesti pienenee. Tuotannossa on kolme konetta, jotka vastaavat yli puolta halliin tulevasta lämpökuormasta, kaksi isoa automaattisorvia ja yksi iso ruuvikompressori. Jos näistä tehtäisiin omat kohdepoistot suoraan ulkoilmaan, jäähdytyksen tarve putoaisi noin 4 kW:iin. Tässäkään tilanteessa ei nykyinen maapiiri riittäisi jäähdytykseen. Hetkellistä tehoa voitaisiin saada tarpeeksi, mutta koko jäähdytyskaudeksi ei jäähdytysenergia riitä, vaan kenttä lämpenee liikaa. Tällöin riittäisi yksi noin 200 m syvä porakaivo ja kustannukset laskisivat kaivojen osalta noin 3000 €.

Lämmöntalteenottojärjestelmän rakentaminen ei ole kohteessa kannattavaa. Poistoilmasta saataisiin lämpöenergiaa otettua talteen jäähdytyskaudella glykolipatterin huonolla hyötysuhteellakin noin 50 kWh vuorokaudessa ja sillä voitaisiin esimerkiksi esilämmittää käyttövedtä. Lämpimän veden kulutus on kuitenkin niin pientä, että laitteiston takaisinmaksuaika olisi noin 25 vuotta ilman käyttö- ja huoltokuluja.

Nykyistä hallia on tarkoitus omistajan mukaan edelleen laajentaa, ja viereen on suunniteltu toista kiinteistöä, johon tarvittaisiin myös lämmitysenergian lähde.

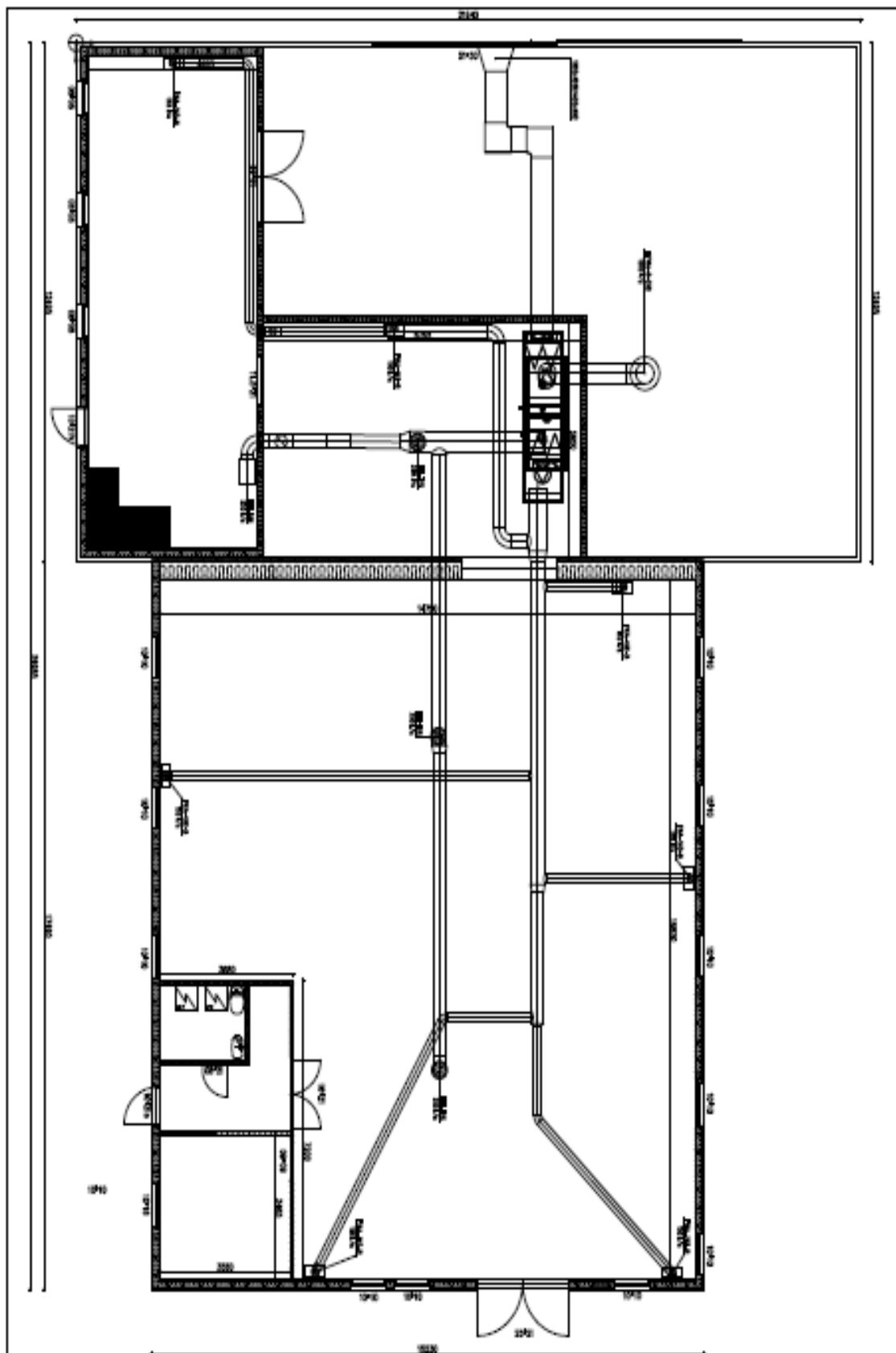
Nykytilanteen ja tulevaisuuden suunnitelmat huomioon ottaen kannattaisi nykyinen maalämpöjärjestelmä jättää palvelemaan ainoastaan tontilla olevaa asuinrakennusta.

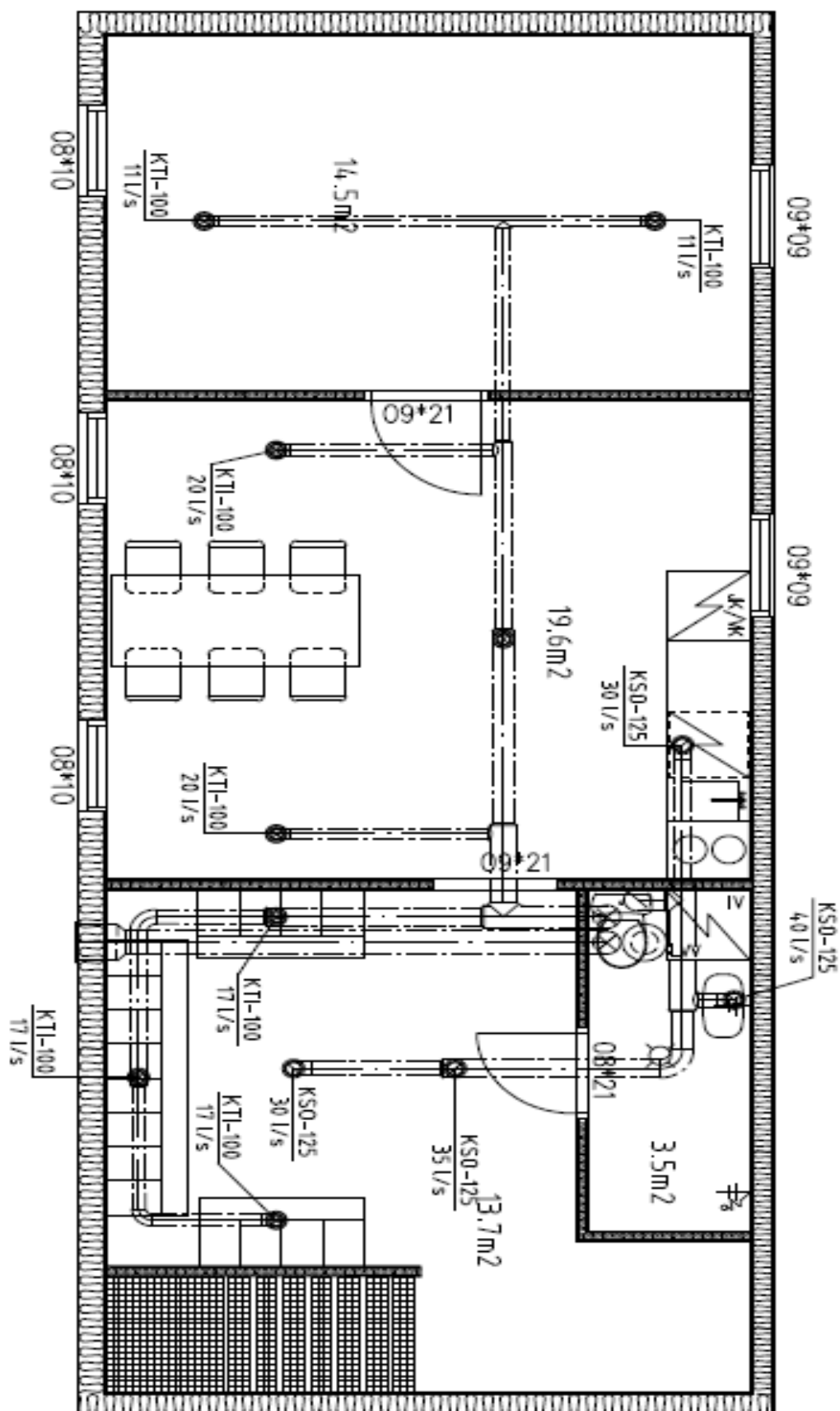
Halliin pitää tehdä ilmastointijärjestelmä, jonka jäähdytysteho riittää lämpökuormien kumoamiseen, sekä rakentaa kokonaan uusi maalämpöjärjestelmä, jolla voitaisiin energiatehokkaasti hoitaa nykyisen ja tulevan hallin lämmitys ja jäähdytys.

LÄHTEET

1. Hakala, Pertti – Kaapola, Esko 2013. Kylmälaitoksen suunnittelu. Helsinki: Opetushallitus.
2. Lämpöpumppusanasto. Dimplex. Saatavissa:
<http://www.dimplex.de/fi/ammattilaisille/tekniikan-selitykset/laempoepumput/laempoepumppusanasto/kaesitteiden-maeerittely/l.html>. Hakupäivä 27.2.2015.
3. Maajäähdytys. 2014. Gebwell. Saatavissa:
<http://www.gebwell.fi/maalampo/maajaahdytys/>. Hakupäivä 13.12.2014.
4. Maalämpöinfo. 2014. Nordic Ekolämpö. Saatavissa:
<http://www.nordicekolampo.fi/maalampoinfo>. Hakupäivä 6.3.2015.
5. Niskala, Mikko 2013. T660303 Lämmitystekniikka 3, 4 op. Opintojakson luennot syksyllä 2013. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.
6. Haapalainen, Heimo 2003. Lämpöpumppujen toiminnan edellytykset, järjestelmien suunnittelu ja yleisimpiä virheitä. Enersys Oy.
7. Juvonen, Janne – Lapinlampi, Toivo 2013. Energiakaivo . Maalämmön hyödyntäminen pientaloissa. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Saatavissa: [http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Julkaisut/YO_2013_Energiakaivo\(24946\)](http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Julkaisut/YO_2013_Energiakaivo(24946)). Hakupäivä 6.3.2015.
8. Liquids and Fluids - Specific Heats. Saatavissa:
http://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-fluids-d_151.html. Hakupäivä 25.2.2015.

9. Jäspi Ecowatti. 2009. Saatavissa:
http://www.asesta.fi/images/pdf/Jaspi_Ecowatti_web_1209.pdf. Hakupäivä 26.2.2015.
10. D2 (2012). 2011. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2012. D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Saatavissa:
http://www.finlex.fi/data/normit/37187-D2-2012_Suomi.pdf. Hakupäivä 16.2.2015.
11. Geodrill Referenssikartta. Saatavissa:
<http://www.geodrill.fi/referenssikartta/>. Hakupäivä 17.4.2015.
12. Mäkelä, Mikko. Re: Maalämpöpumpulle menevän liuoksen lämpötila. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja: Toni Junnonaho. 17.4.2015.
13. Kariniemi, Kimmo . Re: Lämpökaivon mitoitus. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja Toni Junnonaho. 24.3.2015.
14. Pelkonen, Markku. Re: IV-koneen hintatiedustelu. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja Toni Junnonaho 30.4.2015.





LÄMPÖHÄVIÖT

LIITE 2

LÄMPÖHÄVIÖRAPORTTI								
Päiväys:	31.03.2015 (10:44:50)							
MUUTOS								
MAKOTEC OY								
N:o	TILA	m ²	m ³	Kerroin	W/m ²	W/m ³	W	Kerros
1	Halli_1	221.5	552.0	1.0	19.1	7.7	4236	MAKOTEC-LÄMPÖHÄVIÖT 1.krs.drw
2	Varasto	12.5	30.0	1.0	32.7	13.6	409	MAKOTEC-LÄMPÖHÄVIÖT 1.krs.drw
3	Tekninen tila	4.5	10.5	1.0	28.2	12.1	127	MAKOTEC-LÄMPÖHÄVIÖT 1.krs.drw
4	AULA	8.0	19.0	1.0	35.6	15.0	285	MAKOTEC-LÄMPÖHÄVIÖT 1.krs.drw
5	Halli_2	49.5	119.0	1.0	24.4	10.1	1206	MAKOTEC-LÄMPÖHÄVIÖT 1.krs.drw
6	Halli_2	55.5	133.5	1.0	25.2	10.5	1398	MAKOTEC-LÄMPÖHÄVIÖT 1.krs.drw
1	TSTO	15.0	36.0	1.0	36.4	15.2	546	MAKOTEC-LÄMPÖHÄVIÖT 2.krs.drw
2	TAUKOTILA	20.0	49.0	1.0	39.1	16.0	782	MAKOTEC-LÄMPÖHÄVIÖT 2.krs.drw
3	WC	4.0	9.0	1.0	32.2	14.3	129	MAKOTEC-LÄMPÖHÄVIÖT 2.krs.drw
4	PH	11.5	27.5	1.0	19.5	8.1	224	MAKOTEC-LÄMPÖHÄVIÖT 2.krs.drw
5	ET	5.5	14.0	1.0	48.4	19.0	266	MAKOTEC-LÄMPÖHÄVIÖT 2.krs.drw
YHTEENSÄ		407.5	999.5		23.6	9.6	9608	

EED Version 3.16 - www.buildingphysics.com - license for ESA.PAKONEN,
OAMK.FI

Syöttö tiedosto:C:\Users\admin2.TTYLL-LVI-A03.002\Desktop\EED-
Makotec\Käytettävät laskelmat\MAKOTEC.MAX.10.dat

Tämä tulos tiedosto:MAKOTEC.MAX.10.OUT Päivä: 5/7/2015 Aika: 5:39:36
PM

Projektin muistiinpanot

[]

Yhteenveto

Hinta	9649 EUR
Porareikien lukumäärä	2
Porakaivon syvyys	152.50 m
Porakaivon yhteispituus	305.00 m

SUUNNIITELU TIEDOT

=====

MAA

Maaperän lämmönjohtavuus	3.240 W/(m·K)
Maaperän lämpökapasiteetti	2.200 MJ/(m³·K)
Maanpinnan lämpötila	2.00 °C
Maaperän lämpövuoto	0.0400 W/m²

Porausreikä

Kokoonpano:	1 ("2 : 1 x 2 line")
Porakaivon syvyys	152.50 m
Porakaivojen väli	20.00 m
Porakaivon asennus	Normi-U
Porakaivon halkaisija	110.00 mm
U-putken halkaisija	32.000 mm
U-putken paksuus	3.000 mm
U-putken lämmönjohtokyky	0.420 W/(m·K)
U-putken käyrän halkaisija	78.000 mm
Kaivonesteen lämmönjohtavuus	0.600 W/(m·K)
Kontak.Lämpövast. putki/kaivoneste	0.0000 (m·K)/W

LÄMPÖVASTUKSET

Porakaivon lämpövastukset lasketaan
Laskennan monikerrat 10
Sisäinen lämmönsiirto meno ja paluuputken välillä vakio

LÄMMÖNSIIRTONESTE

Lämmönjohtokyky	0.4400 W/(m·K)
Ominaislämpökapasiteetti	4250.000 J/(Kg·K)
Tiheys	960.000 Kg/m ³
Viskositeetti	0.007600 Kg/(m·s)
Jäätymispiste	-15.0 °C
Virtaus per porakaivo	1.000 l/s

PERUSKUORMA

Vuotuinen LKV kuorma	6.50 MWh
Vuotuinen lämpökuorma	30.00 MWh
Vuotuinen jäähdytyskuorma	7.00 MWh

LKV:n COP	3.00
vuosi COP (lämmitys)	3.00
vuosi COP (jäähdytys)	99999.00

Kuukausittainen energiaprofiili [MWh]

Kuukausi	Kerroin	Lämpö	Kerroin	Kylmä	Maaperä
TAM	0.155	5.19	0.000	0.00	3.461
HEL	0.148	4.98	0.000	0.00	3.321
MAA	0.125	4.29	0.000	0.00	2.861
HUH	0.099	3.51	0.000	0.00	2.341
TOU	0.064	2.46	0.100	0.70	0.941
KES	0.000	0.54	0.200	1.40	-1.039
HEI	0.000	0.54	0.300	2.10	-1.739
ELO	0.000	0.54	0.300	2.10	-1.739
SYY	0.061	2.37	0.100	0.70	0.881
LOK	0.087	3.15	0.000	0.00	2.101
MAR	0.117	4.05	0.000	0.00	2.701
JOU	0.144	4.86	0.000	0.00	3.241
Summa	1.000	36.50	1.000	7.00	17.333

HUIPPUKUORMA

Kuukausittaiset huipputehot [kW]

Kuukausi	Huippulämpö	Kesto	Huippukylmä	Kesto [h]
TAM	11.00	10.0	0.00	0.0
HEL	11.00	10.0	0.00	0.0
MAA	11.00	10.0	0.00	0.0
HUH	11.00	5.0	0.00	0.0
TOU	0.00	0.0	10.00	8.0
KES	0.00	0.0	10.00	10.0
HEI	0.00	0.0	10.00	10.0
ELO	0.00	0.0	10.00	10.0
SYY	0.00	0.0	10.00	8.0
LOK	11.00	5.0	0.00	0.0
MAR	11.00	6.0	0.00	0.0
JOU	11.00	20.0	0.00	0.0

Simulointi vuodet 25
Ensimmäinen toiminta kuukausi SYY

LASKETUT ARVOT

=====

Porakaivon yhteispituus 305.00 m

LÄMPÖVASTUKSET

Porakaivon lämp.vast sisäinen 0.5960 (m·K)/W

Reynoldsin luku 6186

Lämpöresistanssi neste / putki 0.0070 (m·K)/W

Lämpöresistanssi putken materiaali 0.0787 (m·K)/W

Kosketusvastus putki / kaivoneste 0.0000 (m·K)/W

Porakaivon lämp.vast. neste / maa 0.1217 (m·K)/W

Tehollinen porakaivon lämpövastus 0.1225 (m·K)/W

OMINAISLÄMMÖN OTTOKYKY [W/m]

Kuukausi Peruskuorma Huippulämpö

TAM	15.55	24.04	-0.00
HEL	14.92	24.04	-0.00
MAA	12.85	24.04	-0.00
HUH	10.51	24.04	-0.00
TOU	4.23	0.00	-32.79
KES	-4.67	0.00	-32.79
HEI	-7.81	0.00	-32.79
ELO	-7.81	0.00	-32.79
SYY	3.96	0.00	-32.79
LOK	9.44	24.04	-0.00
MAR	12.13	24.04	-0.00
JOU	14.56	24.04	-0.00

PERUSKUORMA: NESTEEN KESKILÄMPÖTILAT (kuun lopussa) [°C]

Vuosi	1	2	5	10	25
TAM	2.94	-2.46	-2.73	-2.93	-3.15
HEL	2.94	-2.37	-2.65	-2.85	-3.06
MAA	2.94	-1.78	-2.07	-2.26	-2.48
HUH	2.94	-1.06	-1.36	-1.54	-1.76
TOU	2.94	0.96	0.66	0.48	0.27
KES	2.94	3.89	3.61	3.43	3.22
HEI	2.94	5.10	4.83	4.65	4.44
ELO	2.94	5.28	5.03	4.85	4.64
SYY	1.68	1.65	1.42	1.24	1.03
LOK	-0.13	-0.20	-0.43	-0.61	-0.81
MAR	-1.12	-1.21	-1.43	-1.60	-1.81
JOU	-2.02	-2.12	-2.34	-2.51	-2.71

PERUSKUORMA: VUOSI 25

Pienin keskimääräinen nesteen lämpötila -3.15 °C lopussa TAM
 Suurin keskimääräinen nesteen lämpötila 4.64 °C lopussa ELO

HUIPPU LÄMPÖKUORMA: NESTEEN KESKILÄMPÖTILAT (kuun lopussa) [°C]

Vuosi	1	2	5	10	25
TAM	2.94	-4.27	-4.54	-4.74	-4.95
HEL	2.94	-4.31	-4.59	-4.79	-5.00
MAA	2.94	-4.16	-4.46	-4.65	-4.86
HUH	2.94	-3.71	-4.00	-4.19	-4.40
TOU	2.94	0.96	0.66	0.48	0.27
KES	2.94	3.89	3.61	3.43	3.22
HEI	2.94	5.10	4.83	4.65	4.44
ELO	2.94	5.28	5.03	4.85	4.64
SYY	1.68	1.65	1.42	1.24	1.03
LOK	-2.99	-3.06	-3.29	-3.47	-3.67
MAR	-3.50	-3.59	-3.82	-3.99	-4.19
JOU	-4.20	-4.30	-4.52	-4.69	-4.89

HUIPPU LÄMPÖKUORMA: VUOSI 25

Pienin keskimääräinen nesteen lämpötila -5.00 °C lopussa HEL

Suurin keskimääräinen nesteen lämpötila 4.64 °C lopussa ELO

HUIPPU JÄÄHDYTYSKUORMA: NESTEEN KESKILÄMPÖTILAT (kuun lopussa) [°C]

Vuosi	1	2	5	10	25
TAM	2.94	-2.46	-2.73	-2.93	-3.15
HEL	2.94	-2.37	-2.65	-2.85	-3.06
MAA	2.94	-1.78	-2.07	-2.26	-2.48
HUH	2.94	-1.06	-1.36	-1.54	-1.76
TOU	2.94	8.63	8.33	8.15	7.94
KES	2.94	9.88	9.59	9.41	9.20
HEI	2.94	10.42	10.15	9.97	9.76
ELO	2.94	10.59	10.34	10.17	9.96
SYY	9.30	9.27	9.03	8.86	8.65
LOK	-0.13	-0.20	-0.43	-0.61	-0.81
MAR	-1.12	-1.21	-1.43	-1.60	-1.81
JOU	-2.02	-2.12	-2.34	-2.51	-2.71

HUIPPU JÄÄHDYTYSKUORMA: VUOSI 25

Pienin keskimääräinen nesteen lämpötila -3.15 °C lopussa TAM

Suurin keskimääräinen nesteen lämpötila 9.96 °C lopussa ELO